

Подставив последнее выражение в (13) и решая его относительно p_1 , получим

$$p_1 = \{mg/\pi [b^2 + b(a-b) + (a-b)^2/2]\} [1 - \exp(-nt)]. \quad (20)$$

Используя выражение (20), можно с учетом нестационарности давления в полости дифференциальной площадки в первом приближении оценить связи между массовыми и геометрическими параметрами элементов цилиндрического трибосопряжения и характеристиками топлива в процессе посадки иглы на седло корпуса распылителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свиридов Ю. Б., Малявинский Л. В., Вихерт М. М. Топливо и топливоподача автотракторных дизелей. – Л.: Машиностроение, 1979. – 248 с.
2. О надежности работы распылителей / Р. В. Русинов, И. М. Герасимов, А. Г. Семенов и др. // Двигателестроение. – 2000. – № 3. – С. 16–17.
3. Трусов В. И., Дмитренко В. П., Масляный Г. Д. Форсунки автотракторных дизелей. – М.: Машиностроение, 1977. – 167 с.
4. Топливные системы и экономичность дизелей / И. В. Астахов, Л. Н. Голубков, В. И. Трусов и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
5. Жоховский М. К. Теория и расчет приборов с неуплотненным поршнем. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 312 с.

УДК 656.13.08

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЕШЕХОДНОГО И ПОВОРОТНОГО ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИЗДЕРЖЕК ДВИЖЕНИЯ

КОТ Е. Н.

Белорусский национальный технический университет

Особенностью взаимодействия пешеходного и поворотного транспортного потоков является однозначно юридически определенное преимущество пешехода. Поэтому водитель транспортного средства, выполняющего правый или левый поворот, может продолжить движение через конфликтную точку только в случае, если такое движение не создает помехи пешеходу.

На регулируемом пересечении условия взаимодействия дополнительно корректируются в связи с тем, что для движения и пешеходного, и поворотного транспортного потоков предоставляется только часть времени в течение цикла светофорного регулирования. В результате плотность обоих конфликтующих потоков в течение разрешенного для движения интервала возрастает за счет накопления очереди транспортных средств перед «стоп»-линией и пешеходов у края тротуара.

Для определения пропускной способности конфликта «пешеход – поворотное транспорт-

ное средство» (далее «пешеход – ПТС») и затрат поворотных транспортных средств необходимо определить длительность промежутка времени, в течение которого полоса проезжей части занята пешеходами и не доступна для движения транспорта.

Базовый вариант модели взаимодействия, разработанный в БНТУ [1] для расчета указанных параметров, требует следующих ограничений:

- положение Правил дорожного движения (ПДД), обязывающее водителей ТС при повороте уступить дорогу пешеходам, выполняется при всех взаимодействиях;
- движение пешеходов по переходу осуществляется рядами, размеры которых зависят от интенсивности движения и ширины пешеходного перехода;
- полоса движения ТС считается занятой пешеходами от момента прибытия первого пешехода из группы на условную линию, соответствующую середине полосы, до момента

освобождения этой линии последним пешеходом.

Результаты экспериментальных исследований взаимодействия «пешеход – ПТС», выполненных автором, позволили существенно скорректировать характер применяемых ограничений:

1. Выполнение водителями требований ПДД не является полным, доля водителей-нарушителей зависит от геометрических характеристик пересечения и пешеходного перехода, схемы светофорного регулирования, характеристик пешеходного и транспортного потоков. По результатам исследований на 130 пешеходных переходах, расположенных на регулируемых пересечениях г. Минска, доля водителей, не пропустивших пешеходов, в среднем составляет 25 % при правом повороте, 36 % – при левом.

2. Движение пешеходов, собравшихся перед переходом на запрещающий сигнал, не является строго «рядным».

3. Пешеходы, подошедшие к переходу на разрешающий сигнал, продолжают движение по нему без образования рядов (как по тротуару).

4. Полоса движения является занятой пешеходами от момента пересечения первым пешеходом ближней границы полосы до момента освобождения последним из пешеходов дальней по ходу движения границы.

В результате уточненная модель взаимодействия приобрела следующий вид.

Количество пешеходов N_0 , собравшихся с каждой стороны проезжей части за время включения запрещающего сигнала, определяется по формуле

$$N_0 = \frac{1}{2} q_n C (1 - \lambda_{\text{пеш}} + \beta), \text{ чел./цикл}, \quad (1)$$

где q_n – интенсивность движения пешеходов, чел./с; C – длительность цикла светофорного регулирования, с; $\lambda_{\text{пеш}}$ – доля разрешающего сигнала для пешеходов в цикле регулирования; β – доля разрешающего сигнала для пешеходов, не используемого ими для начала перехода,

$$\beta = \frac{t_{zm} - 2}{C}, \quad (2)$$

где t_{zm} – длительность зеленого мигающего сигнала пешеходного светофора, с.

При включении зеленого сигнала собравшиеся пешеходы начинают движение. Время, в течение которого полоса пешеходного перехода будет занята группой пешеходов $t_{гр}$, определяется по эмпирической формуле

$$t_{гр} = b_{\text{пол}} 0,556 e^{0,036 N_0}, \text{ с}, \quad (3)$$

где $b_{\text{пол}}$ – ширина полосы проезжей части, м; N_0 – величина группы пешеходов, чел.

Пешеходы, подошедшие к проезжей части на разрешающий сигнал, продолжают движение по переходу без образования рядов. Количество таких пешеходов равно

$$N_{\text{св}} = \frac{1}{2} q_n C - N_0, \text{ чел./цикл}. \quad (4)$$

Каждый из таких пешеходов занимает на полосе время, необходимое на преодоление всей ширины полосы:

$$t_{\text{св}} = \frac{b_{\text{пол}}}{v_{\text{п}}}, \text{ с}, \quad (5)$$

где $b_{\text{пол}}$ – ширина полосы проезжей части, м; $v_{\text{п}}$ – средняя скорость движения пешеходов, м/с.

Время, в течение которого полоса проезжей части будет занята пешеходами группы и «свободными» пешеходами (с момента вступления на эту полосу первого пешехода и до освобождения ее последним пешеходом), равно

$$t_1 = t_{гр} + N_{\text{св}} t_{\text{св}}, \text{ с}. \quad (6)$$

Время, занятое пешеходами обоих направлений, будет в два раза больше, чем t_1 , за вычетом времени перекрытия, когда оба пешеходных потока занимают одновременно одно и то же пространство. Время перекрытия определяется:

$$t_x = \frac{S_{1x} - S_{2x}}{v_{\text{п}}} + t_1, \text{ с, при } S_{1x} > S_{2x}; \quad (7)$$

$$t_x = \frac{S_{2x} - S_{1x}}{v_{\text{п}}} + t_1, \text{ с, при } S_{1x} \leq S_{2x}, \quad (8)$$

где S_{1x} – расстояние, преодолеваемое пешеходами от правой кромки проезжей части до границы исследуемой полосы, м; S_{2x} – расстояние,

преодолеваемое пешеходами от левой кромки проезжей части до границы исследуемой полосы, м.

При определении времени перекрытия должно выполняться условие $0 \leq t_x \leq t_1$.

Время, занятое пешеходами обоих направлений на преодоление исследуемой полосы движения, $t_{\text{пеш}}$, равно

$$t_{\text{пеш}} = t_1 + t_2 - t_x, \text{ с}, \quad (9)$$

где t_2 – время, занятое пешеходами встречного направления, с.

Для большинства пешеходных переходов интенсивности пешеходных потоков встречных направлений примерно одинаковы: $t_1 = t_2$. Для пешеходных переходов с существенной неравномерностью пешеходных потоков по направлениям необходимо отдельное определение интенсивностей N_0 , $N_{\text{св}}$ и времени t_1 , t_2 для каждого из направлений движения пешеходных потоков.

Коэффициент занятости пешеходами проезжей части $x_{\text{пеш}}$ равен

$$x_{\text{пеш}} = \frac{t_{\text{пеш}}}{t_z}, \text{ с}, \quad (10)$$

где t_z – время разрешающего сигнала для транспорта на входной «стоп»-линии, с.

Задержки правоповоротных транспортных средств включают задержки на входной «стоп»-линии перед светофором, а также задержки перед пешеходным переходом. Режим взаимодействия пешеходного и правоповоротного транспортного потоков влияет на величину задержек перед пешеходным переходом. Задержки перед светофором определяются по общим формулам определения задержек на регулируемых участках улично-дорожной сети.

Задержки перед пешеходным переходом, в свою очередь, складываются из задержек на правоповоротной полосе движения, а также из задержек на одной или нескольких полосах выходной проезжей части перед пешеходным переходом (в так называемом «накопителе»). Задержка поворотного транспортного потока зависит от времени в цикле светофорного регулирования, занятого пешеходами, интенсивности движения поворотного потока, геометрических характеристик пересечения и пешеходного перехода.

Составляющие экономических издержек определяются в следующей последовательности:

1. Число поворотных автомобилей, остановленных на поворотной полосе:

$$n_{014} = q_{14}C - n_{04} \geq 0, \text{ авт./цикл}, \quad (11)$$

где q_{14} – интенсивность движения правоповоротного потока, авт./с; C – длительность цикла светофорного регулирования, с; n_{04} – количество транспортных средств, которые могут разместиться в «накопителе» перед пешеходным переходом.

Значение n_{04} определяется по базовой модели и затем корректируется с учетом коэффициента нарушений (0,25...0,36) доли водителей, нарушивших требования ПДД и не уступивших дорогу пешеходам.

2. Число поворотных автомобилей, остающихся на второй цикл:

$$n''_{014} = n_{014} - q_{\text{н}14} - \lambda_{\tau}C \geq 0, \text{ авт./цикл}, \quad (12)$$

где $q_{\text{н}14}$ – поток насыщения в правоповоротном направлении, авт./с; λ_{τ} – доля разрешающего сигнала для транспорта на входной «стоп»-линии.

3. Число транзитных транспортных средств, остановленных на поворотной полосе:

$$n'_{013} = \frac{n_{014}}{n_{014} + 1} \frac{q_{14}}{q_{13}} = \frac{n_{014}^2}{n_{014} + 1} \frac{q_{14}}{q_{13}}, \text{ авт./цикл}, \quad (13)$$

где q_{13} – интенсивность движения прямого потока по правой полосе, авт./с;

4. Суммарное количество всех автомобилей, остановленных на поворотной полосе:

$$n_{01} = n_{014} + n'_{013}, \text{ авт./цикл}. \quad (14)$$

5. Удельная задержка правоповоротного потока

$$d_{14} = \frac{1}{n_{14}} \left[n''_{014}C + n_{14}C(\lambda - \lambda_{\tau}) + \frac{n_{014}(n_{01} + 1)}{2q_{\text{н}1}} + \sum_1^j \frac{n_{0j}(n_{0j} + 1)}{2q_{\text{н}1}} \right], \text{ с/авт.}, \quad (15)$$

где $n''_{014}C$ – время, потерянное транспортными средствами, остающимися на второй цикл, с; $n_{14}C(\lambda - \lambda_{\tau})$ – время, потерянное поворотными

транспортными средствами в течение времени движения пешеходов по пешеходному переходу, с; $\frac{n_{014}(n_{01} + 1)}{2q_{n1}}$ – время, потерянное при рас-
сасывании очереди автомобилей на поворотной
полосе, с; $\sum_1^j \frac{n_{0j}(n_{0j} + 1)}{2q_{n1}}$ – время, потерянное
при рассасывании очереди автомобилей, оста-
новившейся на j полосах в «накопителе» перед
пешеходным переходом, с.

6. Удельная задержка поворотных транс-
портных средств, остановленных на поворот-
ной полосе:

$$d_{014} = \frac{1}{n_{014}} \left[n_{014}'' C + n_{014} C (\lambda - \lambda_{\tau}) + \right. \\ \left. + \frac{n_{014}(n_{01} + 1)}{2q_{n1}} \right], \text{ с/авт.}, \quad (16)$$

где $n_{014}'' C$ – время, потерянное транспортными
средствами, остающимися на второй цикл, с;
 $n_{014} C (\lambda - \lambda_{\tau})$ – время, потерянное остано-
вленными поворотными транспортными средствами
в течение времени движения пешеходов по пе-
шеходному переходу, с.

7. Число транзитных автомобилей, остано-
вленных на поворотной полосе:

$$n_{013} = \min \left\{ n_{013}'; \frac{d_{014} n_{014}}{T_1} K_{01} \right\}, \text{ авт./цикл}, \quad (17)$$

где $T_1 = \frac{\lambda_1}{q_1}$ – интервал в «сжатом» потоке q_1 , с;

$$K_{01} = \frac{q_{n1}}{q_{n1} \lambda_1} \quad (18)$$

– коэффициент приращения очереди.

Если $n_{013} < n_{013}'$, то необходимо скорректи-
ровать значение n_{01} , заменив n_{013}' на n_{013} , уточ-
нить значение d_{014} по скорректированному n_{01} ,
значение n_{013} – по скорректированному d_{014} .

8. Удельная задержка остановленных тран-
зитных транспортных средств

$$d_{013} = d_{014} - \frac{a(a+1)}{2}, \text{ с/авт.}, \quad (19)$$

где $a = \frac{n_{013}}{n_{014}}$.

9. Удельная задержка транзитных транс-
портных средств

$$d_{13} = d_{013} P_{013}, \text{ с/авт.}, \quad (20)$$

где $P_{013} = \frac{n_{013}}{n_{13}}$ – вероятность остановки тран-
зитных транспортных средств, определяемая по
базовой модели.

Корректировка расчетной модели на осно-
вании данных, полученных экспериментальным
путем, привела к существенному повышению
точности результатов при определении эконо-
мических издержек движения (от задержек и
остановок транспортных средств, задержек пе-
шеходов) для ситуаций, в которых взаимодей-
ствуют пешеходные и поворотные транспорт-
ные потоки. Применение усовершенствованной
модели позволит принимать более взвешенные
решения при выборе схемы регулирования та-
ких взаимодействий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Врубель Ю. А. Организация дорожного движения: В 2 ч. – Мн.: Белорусский фонд безопасности дорожного движения, 1996. – Ч. 2. – 306 с.